

9º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



9º CONGRESSO
Brasileiro de **P&D** em
PETRÓLEO E GÁS

Maceió, AL
de 09 a 11 de novembro
2017

Realização:



ABPG
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE P&D EM
PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E ASPECTOS DIAGENÉTICOS DOS ARENITOS DA FORMAÇÃO MACEIÓ, PORÇÃO NORTE DA BACIA ALAGOAS

AUTORES:

Mávylla Sandreya C. Tenório¹, Zenilda Vieira Batista², Sonia Maria O. Agostinho da Silva³

INSTITUIÇÃO:

^{1,2} Engenharia de Petróleo, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, ³Departamento de Geologia, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco

CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E ASPECTOS DIAGENÉTICOS DOS ARENITOS DA FORMAÇÃO MACEIÓ, PORÇÃO NORTE DA BACIA ALAGOAS

Abstract

In Alagoas Basin (North Portion), where Maceió Formation appears expressively, requires diagenetic and petrologic studies to verify the quality of sedimentary deposits such as oil reservoir. This Formation represents records from Cretaceous' sedimentation (Aptian-Albian) in Alagoas Basin and consists of sandy deposits generated by underwater gravitational flows, beyond shales, conglomerates, siltstone, mudstone and evaporites, from fluvial-deltaic, forming turbidite sequences. Thus, the purpose of this work was characterizing petrographically sandstones from turbidite sequences of Maceió Formation (Alagoas Basin), by analyzing compositional and diagenetic aspects as well as diagenetic influences on its porous characteristics and permeability. In the present work twenty thin blades were quantitatively and qualitatively described (through polarized light microscopy), by counting of 300 points on each blade, using Gazzi-Dickinson's quantification, and analysis of four blades on Scanning Electron Microscopy (SEM) aim for detailed identification of diagenetic processes that can affect porosity and permeability of these rocks. These diagenetic analysis and petrographic results showed that sandstone from turbidite sequence of Maceió Formation are potential indicators of reservoir rock conditions.

Introdução

Localizada no Nordeste brasileiro, a Bacia de Alagoas (Figura 1) ocupa uma faixa costeira correspondente a 220 km de extensão e possui 40 km de largura média. Seus limitantes ao norte e ao sul são: o Alto de Maragogi, onde faz fronteira com a Bacia Pernambuco e o Alto de Jaipoatã-Penedo, fronteira com a Bacia de Sergipe (SANTOS *et al.*, 2004), respectivamente. Sua importância está em possuir a mais completa sucessão estratigráfica no contexto das bacias sedimentares brasileiras, ocorrendo registros das quatro megassequências: pré-rifte, sinrifte, transicional e pós-rifte.

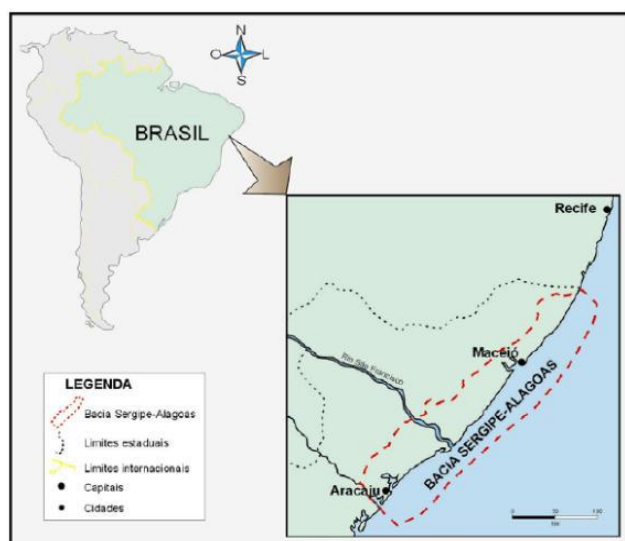


Figura 1: Localização da Bacia Sergipe-Alagoas. FONTE: NOGUEIRA *et. al* (2013).

Na Bacia Alagoas, destaca-se a Formação Maceió, a qual representa a sequência turbidítica Cretácea da Bacia Alagoas, e ocorre em quase toda a bacia (principalmente em subsuperfície), possuindo uma sequência sedimentar de 5.000 metros de espessura em áreas submersas (ABREU & POTTER, 1990). A deposição da Formação Maceió ocorreu por meio de leques aluviais sintectônicos continentais, que se tornaram marinhos a partir do Neoptiano (ABREU, 1989; FEIJÓ, 1994, *apud* NASCIMENTO, 2005), sendo constituída por diversas litologias, dentre elas, arenitos, folhelhos, argilitos e conglomerados (Figura 2), que compõe parte da sequência turbidítica da bacia.

Arenitos turbidíticos são de grande relevância econômica no cenário petrolífero nacional, por constituírem excelentes reservatórios de petróleo. Segundo Bruhn (1998), os turbiditos respondem por cerca de 88,6% das reservas totais de petróleo no Brasil. Desta forma, cada vez mais, os depósitos turbidíticos vêm se tornando alvo de estudos no Brasil.

Quanto à caracterização petrográfica e diagenética de arenitos, é importante destacar que se faz necessárias tais análises, visto que o reconhecimento e a compreensão de propriedades petrofísicas básicas, como porosidade e permeabilidade, são fundamentais para avaliar qualidade de reservatórios de hidrocarbonetos.

Estudos petrográficos em arenitos possibilita identificar componentes deposicionais e diagenéticos. A diagênese, por sua vez, influencia diretamente a distribuição da porosidade e permeabilidade nas rochas, devido a sua capacidade de causar intensas modificações nessas propriedades. Segundo Daudt (2009), a diagênese é um condicionante importante que impacta de forma marcante a qualidade de muitos reservatórios.

Schrank (2013), analisando os processos e padrões diagenéticos dos arenitos Cretáceos de Bacias da Margem Equatorial brasileira, concluiu que os processos diagenéticos reduziram fortemente a porosidade destas rochas. Já Martine (2010), estudando os padrões diagenéticos e porosidade dos depósitos siliciclásticos-carbonáticos dos campos de Fazenda Santa Luzia e Fazenda São Rafael, Bacia do Espírito Santo, observou que a diagênese foi responsável por uma intensa modificação e redistribuição da porosidade e permeabilidade destas rochas.

De acordo com Jardim (2008), a diagênese é um fenômeno que engloba processos físicos e químicos que afetam os sedimentos após a sua deposição e durante os primeiros milhares de metros de soterramento, ocorrendo a temperaturas e pressões moderadas (inferiores a 200 °C e 2000 kg/cm², respectivamente).

Assim, este trabalho tem objetivo fazer uma caracterização e interpretação petrográfica e diagenética dos arenitos turbidíticos da Formação Maceió (porção norte da Bacia Alagoas), visando analisar e reconhecer os aspectos composicionais e processos diagenéticos modificadores da permo-porosidade original dos referidos arenitos.

Metodologia

Neste trabalho, o material utilizado é oriundo de amostras de afloramentos, coletadas na porção norte da Bacia Alagoas (Formação Maceió). Foram coletadas 20 amostras de rochas, das quais, 10 foram separadas para confecção de lâminas petrográficas e analisadas ao microscópio petrográfico de luz polarizada, e 4 foram examinadas no microscópio eletrônico de varredura (MEV).

A análise petrográfica quantitativa foi realizada a partir da contagem de 300 pontos (grãos do arcabouço, matriz e porosidade) em cada lâmina petrográfica examinada. Foi utilizado o método de quantificação de Gazzi-Dickinson (cf. ZUFFA, 1985), onde a contagem de pontos foi feita por meio

de quatro travessias perpendiculares à orientação principal da rocha. Em cada lâmina foi contada a porcentagem de quartzo monocristalino (Qm), quartzo policristalino (Qp), feldspato potássico (Fk), plagioclásio (Fp), fragmento lítico (L), matriz e porosidade. Os dados obtidos através da quantificação de grãos por lâmina petrográfica foram plotados em diagramas triangulares QFL (*sensu* FOLK, 1968), para classificar os arenitos.

Com relação aos aspectos texturais, foram analisados a granulometria, arredondamento e seleção dos grãos. O índice de empacotamento foi definido de acordo com Kahn (1956); também foi definida maturidade textural e mineralógica.

Resultados e Discussão

PETROGRAFIA

Os arenitos da Formação Maceió apresentam uma granulometria que varia de areia muito grossa a fina, com predominância de arenitos grossos. Composicionalmente são constituídos por grãos de quartzo monocristalinos (média de 39; Figura 2A), predominantemente plutônicos, com poucos cristais policristalinos (em torno de 2%, de origem plutônica). Os feldspatos somam uma média de 26%, sendo essencialmente do tipo microclina (Figura 2B) e, em quantidades subordinadas, ocorre o ortoclásio e traços de plagioclásio e pertita. Os fragmentos líticos perfazem cerca de 2%, incluem rochas graníticas, gnáissicas e fragmentos argilosos, predominando o primeiro. Os minerais acessórios somam mais de 6%, sendo representados pela muscovita, biotita, opacos, zircão e outros pesados.

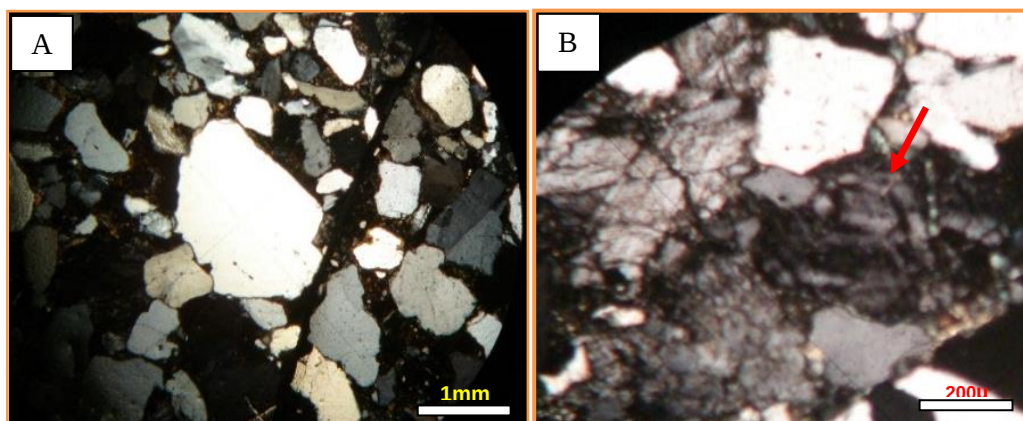


Figura 2: Fotomicrografias dos aspectos composicionais. A) Grãos de quartzo monocristalino, angulosos e subangulosos (nicóis cruzados). B) Grãos de feldspato microclina alterada (seta vermelha, nicóis cruzados).

De acordo com as proporções de quartzo, feldspato e fragmentos líticos, os arenitos da Formação Maceió são classificados como arcóseos (*sensu* Folk, 1968; Figura 3). Esses arenitos apresentam uma matriz arenosa e argilosa, com cimento predominantemente ferruginoso, ocorrendo de forma subordinada, cimento de caulinita e silicoso (por crescimento secundário de quartzo).

Os argilominerais encontrados foram esmectita, ilita e, em menor proporção, caulinita. A esmectita (Figura 4A) ocorre preenchendo os espaços porosos; a ilita encontra-se substituindo grãos de feldspato (*ver* Figura 5B); e a caulinita apresenta-se como lamelas substituindo grãos de muscovita e biotita e, também, substituindo grãos de feldspato. Ressalta-se ainda que a presença de esmectita é comum em ambientes de clima árido e semiárido, enquanto que, a caulinita, segundo Morad (1991), pode ser proveniente da dissolução de feldspato potássico, como a microclina.

As rochas analisadas apresentam grãos angulosos a subangulosos e mal selecionados, evidenciando baixa maturidade textural (ver Figura 2A); mantêm contatos predominantemente pontuais e flutuantes, seguidos de contatos retos, com raros côncavo-convexos e suturados, dominando o empacotamento normal, sugerindo baixa compactação dessas rochas. A porosidade média nesses arenitos é de 16%, sendo representada essencialmente pela primária intergranular (Figura 4B), seguida da secundária intragranular, por fraturamento e dissolução de grãos.

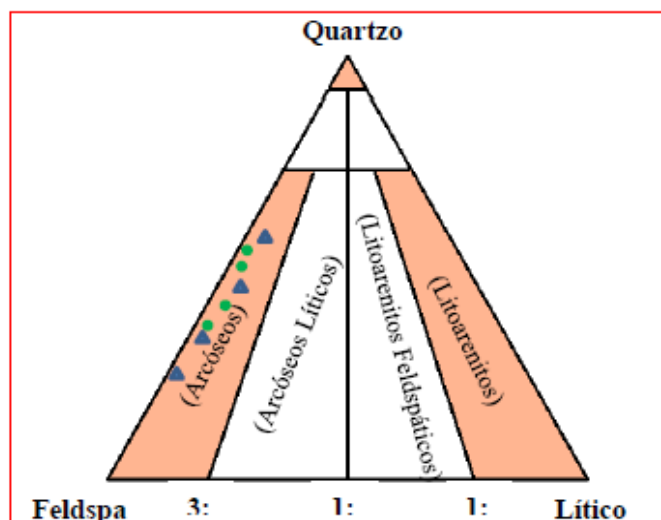


Figura 3: Classificação composicional dos arenitos da Formação Maceió, segundo o diagrama de Folk (1968). Os círculos verdes representam amostras oriundas do afloramento de Japaratinga, e os triângulos azuis correspondem às amostras oriundas do afloramento de Barreira do Boqueirão.

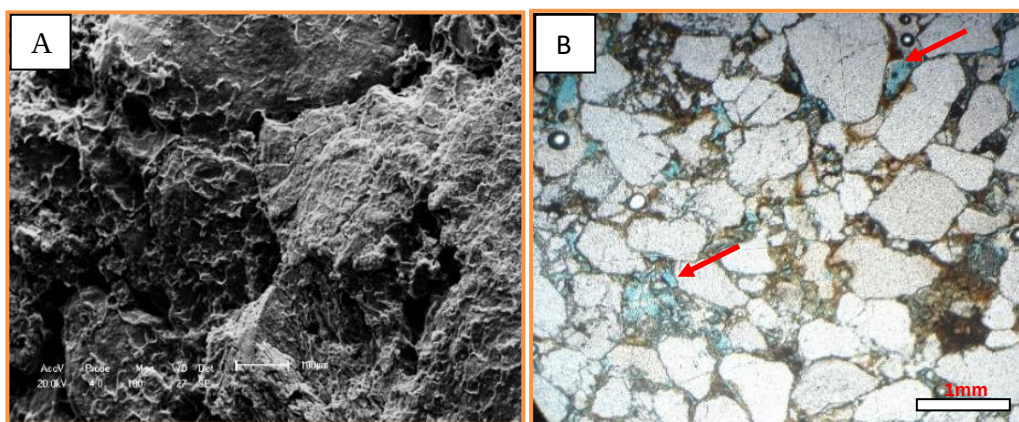


Figura 4: A) Argila esmectita (imagem obtida em MEV). B) Porosidade primária intergranular (setas, nódulos paralelos).

DIAGÊNESE

A análise diagenética dos arenitos estudados foi obtida por meio das relações petrográficas analisadas. A petrografia mostrou que estas rochas foram submetidas aos estágios da eodiagenese, mesodiagenese e telodiagenese. Os principais processos diagenéticos identificados foram: compactação mecânica de grãos, representada por muscovita dobrada entre grãos (Figura 5A) e grãos fraturados (quartzo e feldspatos; ver Figura 2B); argila infiltrada recobrindo grãos (pouco presente); alteração e substituição dos feldspatos por argilominerais, como ilita (Figura 5B) e caulinita; dissolução de grãos gerando porosidade secundária; alteração de biotita, originando cimento de

óxido/hidróxido de ferro; cimento de pirita; e crescimento autigênico de quartzo (crescimento sintaxial).

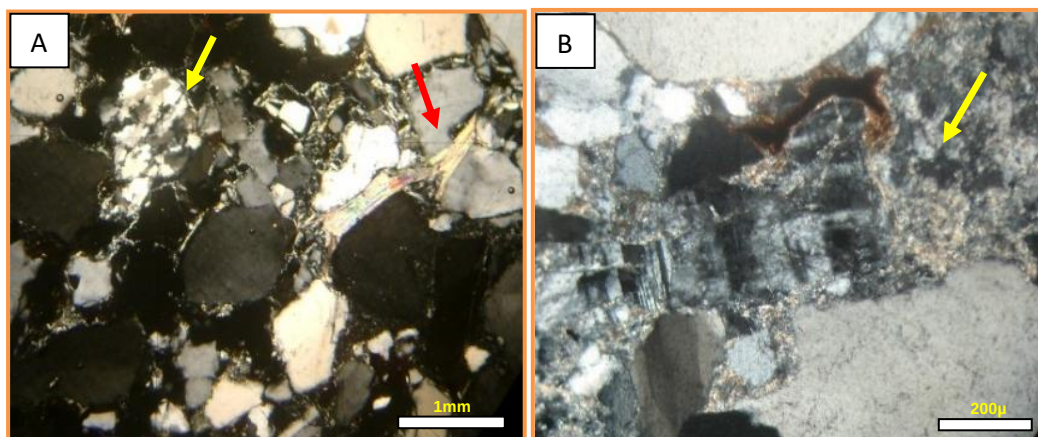


Figura 5: A) Grãos de quartzo monocristalino, muscovita compactada (seta vermelha) e fragmento de rocha granítica (seta amarela, nicóis cruzados). B) Grãos de feldspato alterado, se ilitizando (setas amarelas, nicóis cruzados).

COMPACTAÇÃO MECÂNICA E QUÍMICA

Segundo Martini (2010), a compactação mecânica corresponde a processos advindos de soterramento que originam a redução tanto dos espaços porosos, quanto do volume total de sedimentos. Os processos mecânicos envolvem deformação de interclastos e de minerais lamelares, como micas, e fraturamento e rotação de grãos (CAETANO-CHANG & FU TAI, 2003).

De acordo com Wolela & Gierlowski-Kordesch (2004), a compactação mecânica é responsável pela expulsão de água intersticial dos poros e o rearranjo dos grãos. Este processo afeta, predominantemente, o arcabouço da rocha, devido às mudanças físicas dos grãos, tais como: deslizamento e rotação; deformação plástica e elástica; fraturamento e formação de pseudomatriz (SILVA, 2009). Füchtbauer (1967), analisando arenitos de diferentes composições, idades e profundidades, concluiu que os rearranjos estruturais provenientes de compactação mecânica representam processos responsáveis pela redução de porosidade quando essa compactação atua de forma muito expressiva.

Com relação à compactação química, este processo é diferenciado pela dissolução de grãos do arcabouço em seus contatos; esta dissolução ocorre devido à pressão oriunda da sobrecarga sedimentar.

Neste contexto, nota-se que a compactação mecânica e química não foi tão efetiva nos arenitos estudados, visto que foram identificados poucos produtos oriundos desses processos diagenéticos. Identificou-se apenas alguns grãos de quartzo e feldspatos fraturados, além de raras muscovitas dobradas; contatos côncavo-convexos e suturados entre grãos, indicando compactação química, também são raros. Os contatos entre os grãos são predominantemente pontuais, seguidos de flutuantes, evidenciando baixa compactação dessas rochas, contribuindo para preservação original da porosidade.

INFILTRAÇÃO MECÂNICA DE ARGILA

O processo de infiltração mecânica de argilas nos arenitos estudados é pouco expressivo, preservando sua porosidade original. A argila infiltrada encontrada foi do tipo esmectita, porém ocorre em pequena quantidade. Segundo Crone (1975, *apud* De ROS 1986), a argila pode ser introduzida

após a deposição de sedimentos, pela água de enxurradas episódicas, quando o lençol freático é rebaixado a níveis profundos, conduzindo a argila pelas gargantas dos poros, através da zona vadosa (quando os poros estão parcialmente preenchidos por gases e água), decantando nas superfícies dos grãos. Nesse processo, como a argila em suspensão é bem menor do que as “gargantas” dos poros, e a vazão de infiltração, gravitacionalmente impelida através da zona vadosa, é de início bastante alta, as lamelas de argila promove sua decantação na superfície dos grãos, onde aderem.

Em clima árido e semiárido, a argila detrítica, mecanicamente infiltrada, mostra uma composição original predominantemente esmectítica. Contudo, com a diagênese subsequente, a esmectita passa gradualmente a interestratificados de clorita-esmectita e illita-esmectita (CAETANO-CHANG & WU, 2003). A illita, quando relacionada com processos de infiltração mecânica em clima árido a semiárido, pode ter sua origem ligada à transformação diagenética de esmectitas para interestratificados illita-esmectita e, finalmente, para illita (BLATT, 1979, DE ROS 1986).

É importante destacar que os processos de compactação mecânica e infiltração de argila ocorrem principalmente no estágio da eodiagênese, indicando proximidade da superfície deposicional. A compactação mecânica muito forte sugere pertencer ao estágio da mesodiagênese. No entanto, nos arenitos da Formação Maceió a compactação mecânica foi pouco atuante, evidenciando pouco soterramento dos sedimentos e tendência do estágio eodiagenético.

ALTERAÇÃO E SUBSTITUIÇÃO DE MINERAIS

Em muitas amostras dos arenitos analisados, os processos de alteração e substituição de muscovita, biotita e feldspatos (sofrendo caulinização) são frequentes. Também está presente a biotita alterada gerando cimento de óxido/hidróxido de ferro. É possível que a exposição de grãos de feldspatos aos processos mesogenéticos e ao intemperismo tenha intensificado sua alteração, produzindo feldspatos parcial ou totalmente caulinizados. Assim, o feldspato pode ter originado a caulina encontrada nas rochas estudadas.

O processo de “ilitização” dos feldspatos, conforme ocorre nos arenitos analisados (ver Figura 5B), pode resultar na precipitação dessa illita nos espaços porosos. Segundo Sansone (2014), a illita, pertencente ao grupo de minerais argilosos, ocorre na forma de fibras de diâmetro de ordem submicrométrica. Este argilomineral pode resultar na redução significativa da permeabilidade e pequena redução da porosidade. A illita também pode ser formada pela transformação de esmectita detrítica proveniente da bioturbação de matriz ou pseudomatriz, formada pela compactação de intraclastos lamosos (LIMA & DE ROS, 2002). Este argilomineral pode resultar na redução significativa da permeabilidade e pequena redução da porosidade.

A alteração de biotita é um processo diagenético que pode ocorrer tanto na eodiagênese, quanto na telodiagênese. O ferro liberado das reações de alteração de biotita pode ocorrer como íons férrico ou ferroso, dependendo das condições de pH existentes: o íon ferroso (Fe^{2+}) continua em solução ou é incorporado a fases autigênicas como a pirita e a esmectita, enquanto o íon férrico (Fe^{3+}), pouco solúvel, precipita como óxido ou hidróxido de ferro (WALKER, 1976). Este processo pode ter sido responsável pela geração de cimento ferruginoso nas rochas aqui estudadas.

Para Caetano-Chang & Wu (2003), em regiões de pequena precipitação pluviométrica, os sais resultantes da decomposição química não podem fluir para os rios e mares, ficando em sua maior parte retidos no local onde se formam. Assim, o movimento capilar que ascende da água por evaporação faz com que os sais se acumulem na superfície. Segundo os autores, a precipitação

eodiagênética de cimento pode deslocar os grãos do arcabouço, onde a precipitação de calcita pode ser excessiva. No entanto, este caso não foi verificado nos arenitos analisados neste trabalho.

DISSOLUÇÃO DE GRÃOS

Nos arenitos turbidíticos estudados ocorrem dissolução parcial de grãos, gerando porosidade secundária. Esse tipo de porosidade, embora seja comum no estágio da mesodiagênese, também pode ocorrer ainda na eodiagênese, visto que nessa etapa diagenética os sedimentos ainda sofrem influência da superfície.

Segundo Menezes (1999), o evento de dissolução de rochas sedimentares aflorantes é referenciado, na maioria das vezes, como decorrente da percolação de águas intersticiais de origem meteórica que interagem com grãos do arcabouço e com o cimento, promovendo solubilização parcial ou integral dos mesmos. A geração de porosidade secundária surge como consequência imediata deste evento, a geração de porosidade intergranular.

CRESCIMENTO AUTIGÊNICO DE QUARTZO

Nos arenitos turbidíticos da Formação Maceió também foi encontrando cimento de quartzo autigênico na forma de crescimento sintaxial, destruindo a porosidade. Contudo, este cimento silicoso ocorreu em pequena quantidade, pouco contribuindo na redução da porosidade. Segundo De ROS (1998, *apud* Bocardi et al., 2006), o processo de crescimento sintaxial de quartzo é comum no estágio de mesodiagênese.

Conclusões

Nos arenitos turbidíticos da Formação Maceió (porção norte da Bacia Alagoas), a análise petrográfica revelou que essas rochas são ricas principalmente em quartzo (mono e policristalinos plutônicos) e feldspatos (sendo a microclina o mais frequente), sendo classificadas como arcóseos. Os fragmentos de rocha são predominantemente plutônicos, a matriz é arenosa e argilosa, o cimento mais frequente é de óxido/hidróxido de ferro, seguido do caulínico; os argilominerais mais comuns são a esmectita e a caulinita.

A porosidade predominante é a primária do tipo intergranular, ocorrendo, também, a porosidade intragranular como produto da dissolução de grãos (em menor frequência). O índice de empacotamento mostrou um predomínio de empacotamento normal, sobretudo com contatos pontuais e flutuantes, evidenciando baixa compactação dessas rochas e preservação da porosidade original.

Estes arenitos foram submetidos predominantemente ao processo da eodiagênese, abrangendo compactação mecânica de grãos, infiltração mecânica de argila, cimentação ferruginosa (oriundo de alteração de biotita), dissolução de grãos e caulinição de muscovita, biotita e feldspatos. A influência dos processos de compactação e infiltração de argila foi pouco significativa na redução da porosidade original da rocha. Por outro lado, a dissolução parcial de grãos contribuiu para um aumento da porosidade de algumas amostras desses arenitos.

A mesodiagênese caracteriza-se nessas rochas pela autigênese de illita e o crescimento sintaxial de quartzo. Já a telodiagênese está sendo representada pela cauliniata em hábito em “livrinhos (*booklet*)”.

A influência dos processos diagenéticos de compactação mecânica de grãos, dissolução de grãos, infiltração de argila, geração de cimento, entre outros, presentes nos arenitos da Formação Maceió, não foi tão atuante, podendo ter contribuído para a preservação da porosidade primária intergranular, a qual ocorre com predominância.

A dissolução e o fraturamento de grãos gerados pelos processos diagenético resultaram na geração de porosidade secundária da rocha. A porosidade primária encontrada foi em torno de 16%, considerada boa, quando se trata de rochas-reservatório. Dessa forma, os resultados petrográficos mostram que os arenitos turbidíticos da Formação Maceió são potenciais indicadores de rochas-reservatório.

Referências Bibliográficas

ABREU, C. **Predicting reservoir quality in the Cretaceous Maceió Member of the Sergipe-Alagoas Basin, Northeast Brazil**. Dissertação de mestrado, Cincinnati University, Cincinnati, USA, 1989.

ABREU, C.J.; POTTER, P.E. **Tipos e distribuição de porosidade nos arenitos do Membro Maceió, Cretáceo da Bacia Sergipe-Alagoas, NE do Brasil**. Boletim de Geociências da Petrobrás, Riode Janeiro, Brasil, 1990.

CAETANO-CHANG, M. R.; WU, F. T. **Diagênese de arenitos da Formação Pirambóia no Centro-leste Paulista**. Boletim de Geociências, Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2003.

DE ROS, L.F. **Petrologia e características de reservatórios da Formação Sergi (Jurássico) no Campo de Sesmaria, Bacia do Recôncavo, Brasil**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, 1986.

FÜCHTBAUER, H. **Influence of different types of diagenesis on sandstone porosity**. 7th World Petroleum Congress, Elsevier, Pub., London, 1967.

FOLK, R. L. **Petrology of sedimentary rocks**. Austin, Texas, Hemphill's, Pub., 1968. p. 107.

LIMA, R.D.; DE ROS, L.F. **The role of depositional setting and diagenesis on the reservoir quality of Devonian sandstones from the Solimões Basin, Brazilian Amazonia**. In: Marine and Petroleum Geology, Elsevier, 2002. p. 11- 25.

MARTINI, M. **Controles deposicionais sobre a composição primária, padrões diagenéticos e porosidade dos depósitos mistos siliciclásticos-carbonáticos dos campos de Fazenda Santa Luzia e Fazenda São Rafael, Bacia do Espírito Santo**. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2010.

MENEZES, M. R. F. **Estudos sedimentológicos e o contexto estrutural da Formação Serra do Martins, nos platôs de Portalegre, Martins e Santana/RN**. Dissertação de Mestrado – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, 1999.

MORAD, S. **Diagenesis of clastic sedimentary rocks**. Depart. Of Mineralogy and Petrology, Uppsala University, Sweden, 1981.

NASCIMENTO, M.C.; FILHO LIMA, M. **Fácies da Formação Maceió (Aptiano-Albiano) na Porção Norte da Bacia Alagoas**. Estudos Geológicos v. 15, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, 2005.

SANSONE, E.C. **Porosidade das Rochas**. Notas de Aula – Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2014.

SANTOS, R.C.A.L. Evolução da linha de costa a médio e curto prazo associada ao grau de desenvolvimento urbano e aos aspectos geoambientais na planície costeira de Maceió- Alagoas. Tese de Doutorado – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, 2004.

SILVA, L.S. Análise sedimentológica e petrológica da Formação Sergi próximo da Falha Maragogipe em São Roque do Paraguaçu, Bacia do Recôncavo – BA. Tese de Conclusão de Curso (Monografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, 2009.

WALKER, T.R. Diagenetic origin of continental Permian in west, central and south Europe. Proceedings of the NATO Advanced Study Institute, D. Reidel, Pub. Co., Germany, p.240-282. 1976.

WOLELA, A.M.; GIERLOWSKI-KORDESCH, E.H. Diagenetic history of fluvial and lacustrine sandstones of the Hartford Basin (Triassic–Jurassic), Newark Supergroup, USA. In: Sedimentary Geology, Elsevier, 2004. p. 99 – 126.